

(12) NACH DEM VERTRÄG ÜBER DIE INTERNATIONALE ZUSAMMENARBEIT AUF DEM GEBIET DES  
PATENTWESENS (PCT) VERÖFFENTLICHTE INTERNATIONALE ANMELDUNG

(19) Weltorganisation für geistiges Eigentum  
Internationales Büro



(43) Internationales Veröffentlichungsdatum  
1. Juli 2004 (01.07.2004)

PCT

(10) Internationale Veröffentlichungsnummer  
**WO 2004/055485 A2**

(51) Internationale Patentklassifikation<sup>7</sup>: **G01F 23/00**

(21) Internationales Aktenzeichen: PCT/EP2003/013842

(22) Internationales Anmeldedatum:  
6. Dezember 2003 (06.12.2003)

(25) Einreichungssprache: Deutsch

(26) Veröffentlichungssprache: Deutsch

(30) Angaben zur Priorität:  
102 58 736.1 13. Dezember 2002 (13.12.2002) DE

(71) Anmelder (*für alle Bestimmungsstaaten mit Ausnahme von US*): **ENDRESS + HAUSER GMBH + CO. KG**  
[DE/DE]; Hauptstrasse 1, 79689 Maulburg (DE).

(72) Erfinder; und

(75) Erfinder/Anmelder (*nur für US*): **D'ANGELICO**,

Sascha [DE/DE]; Hölzeleweg 9, 79588 Efringen-Kirchen (DE).

(74) Anwalt: **ANDRES, Angelika**; Endress + Hauser Deutschland Holding GmbH, PatServe, Colmarer Strasse 6, 79576 Weil am Rhein (DE).

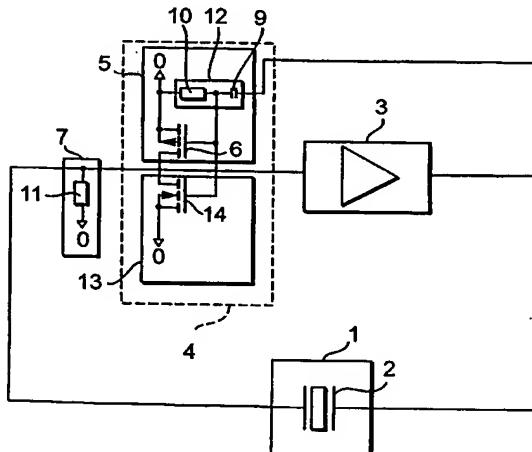
(81) Bestimmungsstaaten (*national*): AE, AG, AL, AM, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DK, DM, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, HR, HU, ID, IL, IN, IS, JP, KE, KG, KP, KR, KZ, LC, LK, LR, LS, LT, LU, LV, MA, MD, MG, MK, MN, MW, MX, MZ, NI, NO, NZ, OM, PG, PH, PL, PT, RO, RU, SC, SD, SE, SG, SK, SL, SY, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, YU, ZA, ZM, ZW.

(84) Bestimmungsstaaten (*regional*): ARIPO-Patent (BW, GH, GM, KE, LS, MW, MZ, SD, SL, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), eurasisches Patent (AM, AZ, BY, KG, KZ, MD, RU,

[Fortsetzung auf der nächsten Seite]

(54) Title: DEVICE FOR OPERATING A VIBRATING UNIT OF A VIBRATION RESONATOR

(54) Bezeichnung: VORRICHTUNG ZUM BETREIBEN EINER SCHWINGFÄHIGEN EINHEIT EINES VIBRATIONSRESONATORS



(57) Abstract: The invention relates to a device for operating a vibrating unit (1) of a vibration resonator, said device comprising a piezoelectric drive (2) which is connected to the vibrating unit (1), and a retroactive electronic system (3). Said retroactive electronic system (3) excites the piezoelectric drive (2) by means of a periodic excitation signal (20) with rising and falling edges in order to create vibrations. The response signal (21) of the piezoelectric drive (2) is redirected back to the retroactive electronic system (3). The inventive device also comprises at least one peak compensation unit (4) which masks out from the response signal (21) at least one interfering signal (22) created by the recharging process of the piezoelectric drive (2). According to the invention, the peak compensation unit (4) is provided with at least one suppression unit (5, 13) comprising at least one switching element (6, 14). Said suppression unit (5, 13) is controlled by the excitation signal (20) of the retroactive electronic system (3) in such a way that the piezoelectric drive (2) is conductively connected to ground during the rising edges and/or during the falling edges of the excitation signal (20).

[Fortsetzung auf der nächsten Seite]

WO 2004/055485 A2



TJ, TM), europäisches Patent (AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HU, IE, IT, LU, MC, NL, PT, RO, SE, SI, SK, TR), OAPI-Patent (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

Zur Erklärung der Zweibuchstaben-Codes und der anderen Abkürzungen wird auf die Erklärungen ("Guidance Notes on Codes and Abbreviations") am Anfang jeder regulären Ausgabe der PCT-Gazette verwiesen.

**Veröffentlicht:**

- ohne internationalen Recherchenbericht und erneut zu veröffentlichen nach Erhalt des Berichts

---

**(57) Zusammenfassung:** Die Erfindung bezieht sich auf eine Vorrichtung zum Betreiben einer schwingfähigen Einheit (1) eines Vibrationsresonators mit einem Piezoantrieb (2), der mit der schwingfähigen Einheit (1) verbunden ist, und einer Rückkoppelektronik (3). Die Rückkoppelektronik (3) regt den Piezoantrieb (2) mittels eines periodischen Erregersignals (20) mit ansteigenden und abfallenden Flanken zu Schwingungen an. Das Antwortsignal (21) des Piezoantriebs (2) wird der Rückkoppelektronik (3) rückgeführt. Vorhanden ist weiterhin mindestens eine Peakkompensationseinheit (4), die mindestens ein Störsignal (22), das sich aus dem Umladevorgang des Piezoantriebs (2) ergibt, aus dem Antwortsignal (21) ausblendet. Die Erfindung beinhaltet, dass in der Peakkompensationseinheit (4) mindestens eine Unterdrückungseinheit (5, 13) mit mindestens einem Schaltelement (6, 14) vorgesehen ist. Die Unterdrückungseinheit (5, 13) wird durch das Erregersignal (20) der Rückkoppelektronik (3) derart gesteuert, dass der Piezoantrieb (2) während der ansteigenden und/oder während der abfallenden Flanken des Erregersignals (20) leitend mit Masse verbunden ist.

## Vorrichtung zum Betreiben einer schwingfähigen Einheit eines Vibrationsresonators

Die Erfindung bezieht sich auf eine Vorrichtung zum Betreiben einer schwingfähigen Einheit eines Vibrationsresonators mit einem Piezoantrieb, der mit der schwingfähigen Einheit verbunden ist, und einer Rückkoppelelektronik, wobei die Rückkoppelelektronik den Piezoantrieb mittels eines periodischen Erregersignals mit ansteigenden und abfallenden Flanken zu Schwingungen anregt und wobei ein Antwortsignal des Piezoantriebs der Rückkoppelelektronik rückgeführt wird, und mit mindestens einer Peakcompensationseinheit, die mindestens ein Störsignal, das sich aus dem Umladevorgang des Piezoantriebs ergibt, aus dem Antwortsignal ausblendet.

Aus der Patentschrift DE 196 21 449 ist eine Vorrichtung bekannt, mit der ein Vibrations-Füllstand-Grenzschalter mit einem Vibrationsresonator betrieben werden kann, welcher in den Rückkopplungszweig eines selbsterregbaren Wandlersystems mit Verstärkeranordnung geschaltet ist. Dabei ist in dem Vibrationsresonator ein Piezoelement sowohl zur Schwingungserregung als auch zur Schwingungsdetektion vorgesehen. Bei dem Erregersignal der Verstärkeranordnung, mit dem das Piezoelement zu Schwingungen angeregt wird, handelt es sich um periodische Rechtecksignale. Während der Flanken des Erregersignals wird das Piezoelement umgeladen, was zu Umladesignalen im Antwortsignal des Piezoelements führt. Die in der Schrift vorgestellte Schaltung hat die Aufgabe, diese Umladesignale auszublenden und den Umladevorgang zeitlich zu minimieren. Für die Aufgabe des Ausblendens wird eine Steuerschaltung vorgestellt, die vom Erregersignal gesteuert wird und die den Ausgang des Piezoelements von der Verstärkeranordnung abkoppelt. Die Minimierung der Dauer des Umladevorgangs wird durch eine Ladestromregelschaltung erreicht, die ein virtuelles Bezugspotential erzeugt. Beide Schaltungen weisen u.a. OP-

Verstärker und einen Halbleiterumschalter auf. Nachteilig an dieser Vorrichtung ist, dass es sich z.B. bei den zuvor genannten Bauteilen um relativ kostenintensive Bauteile handelt.

5      Der Erfindung liegt die Aufgabe zugrunde, eine Vorrichtung anzugeben, mit der das Störsignal des Umladevorgangs aus dem Antwortsignal des Piezoantriebs ausgeblendet wird. Dies soll durch eine Ausgestaltung mit möglichst wenigen und preisgünstigen Bauteilen geschehen.

10     Die Erfindung löst diese Aufgabe in einer ersten Ausgestaltung dadurch, dass in der Peakkompensationseinheit mindestens eine Unterdrückungseinheit mit mindestens einem Schaltelement vorgesehen ist, das durch das Erregersignal der Rückkoppelektronik derart gesteuert wird, dass der Piezoantrieb während der ansteigenden und/oder während der abfallenden Flanken des Erregersignals leitend mit Masse verbunden ist.

15    

Die Idee der Erfindung ist, während der Flanken des Erregersignals, d.h. während der Zeiten, zu denen die Störsignale verursacht werden, über die Peakkompensationseinheit den Piezoantrieb gegen Masse kurzzuschließen.

20     Dadurch gelangt zum einen das Antwortsignal während dieser Flanken nicht zur Rückkoppelektronik, wodurch die Umladesignale ausgeblendet sind. Zum anderen minimiert sich der Gesamtwiderstand, mit dem der Piezoantrieb ein RC-Glied bildet. Dies hat auch den Vorteil, dass die Umladezeit des Piezoantriebs minimiert wird. Der Gesamtwiderstand besteht speziell aus einem Widerstand, der nachfolgend erklärt werden wird (Strom-zu-Spannungswandler), und aus zusätzlichen Innenwiderständen der Schaltung, die beispielsweise aus Gründen des Explosionsschutzes erforderlich sein können.

25    

30     Die erste Ausgestaltung der Erfindung beschreibt eine Vorrichtung zum Betreiben einer schwingfähigen Einheit eines Vibrationsresonators mit einem

Piezoantrieb und einer Rückkoppelelektronik. Die Rückkoppelelektronik regt den Piezoantrieb mittels eines periodischen Erregersignals mit ansteigenden und abfallenden Flanken zu Schwingungen an. Dadurch wird die mechanisch schwingfähige Einheit, die mit dem Piezoantrieb verbunden ist, zu

5 Schwingungen angeregt. Bei dem Erregersignal kann es sich in einer vorteilhaften Ausgestaltung um ein periodisches Rechtecksignal handeln. Möglich sind als mechanisch schwingfähige Einheit z.B. eine Schwinggabel oder ein Schwingstab. Durch die Schwingung der mechanisch schwingfähigen Einheit liefert der Piezoantrieb ein Antwortsignal, das der

10 Rückkoppelelektronik rückgeführt wird. Dieses Antwortsignal setzt sich zusammen aus dem eigentlichen Schwingungsdetektionssignal und einem Störsignal. Das Schwingungsdetektionssignal lässt z.B. über die Frequenz Aussagen darüber zu, ob ein Füllstand von einem Medium in einem Behälter erreicht worden ist. Dafür wird ausgenutzt, dass sich die Resonanzfrequenz

15 der schwingfähigen Einheit ändert, wenn sie von einem Medium bedeckt ist, im Vergleich zur Frequenz, wenn sie frei schwingt. Der andere Anteil im Antwortsignal ist ein Störsignal, das sich durch das Umladen des Piezoantriebs immer dann ergibt, wenn sich das Vorzeichen der Spannungsänderung ändert. Eine Änderung des Vorzeichens der

20 Spannungsänderung bedeutet z.B. dass die Spannung von einem positiven zu einem negativen Vorzeichen wechselt und umgekehrt oder dass die Spannung von einem größeren zu einem kleineren Wert wechselt und umgekehrt. Das Umladen ist darauf zurückzuführen, dass der Piezoantrieb u.a. auch die Eigenschaft eines Kondensators aufweist. Dieses Signal zeigt

25 einen deutlichen Anstieg und nimmt dann exponentiell ab, wobei die Zeitkonstante ( $t_1$ ) sich aus der Kapazität des Piezoantriebs und dem Gesamtwiderstand ergibt, mit dem der Piezoantrieb ein RC-Glied bildet. Sind die ansteigenden und abfallenden Flanken des Erregersignals sehr steil, so verkürzt sich der Zeitraum des Umladevorgangs. Das Abklingen des

30 Störsignals ist jedoch, wie bereits erwähnt, durch die Bauteile gegeben. Somit ergeben sich auch das Hauptziel der Erfindung, indem das Störsignal

herausgefiltert wird. Dies wird durch eine Peakcompensationseinheit erreicht, die das Störsignal, das sich aus dem Umladevorgang des Piezoantriebs ergibt, aus dem Antwortsignal ausblendet. Ein weiterer Vorteil der Peakcompensationseinheit ist, dass gleichzeitig die Dauer des  
5 Umladevorgangs des Piezoantriebs minimiert wird. In der Peakcompensationseinheit findet sich mindestens eine Unterdrückungseinheit mit mindestens einem Schaltelement, das durch das Erregersignal der Rückkoppelektronik gesteuert wird. Der Effekt der Peakcompensationseinheit besteht darin, dass der Piezoantrieb während der  
10 ansteigenden und/oder während der abfallenden Flanken des Erregersignals leitend mit Masse verbunden ist. Die ganze Problematik entsteht dadurch, dass ein Piezoantrieb sowohl für die Schwingungsanregung als auch für die Schwingungsdetektion verwendet wird. Werden die Anregung und die  
15 Detektion durch zwei piezo-elektrische Elemente realisiert, so findet eine Verbindung der beiden Elemente nur durch die mechanisch schwingfähige Einheit statt. Dadurch hat das Umladesignal der anregenden Einheit nur zu vernachlässigende Auswirkungen auf die mechanisch schwingfähige Einheit und wird vor allem nicht von der detektierenden Einheit mitdetektiert. Somit ist bei getrennter Anregung und Detektion die Anwendung der Erfindung nicht  
20 erforderlich.

Eine Ausgestaltung sieht einen Strom-zu-Spannungswandler vor. Über diesen wird das Antwortsignal, das ein Stromsignal ist, in ein Spannungssignal umgewandelt. Eine kostengünstige Ausgestaltung realisiert dies über einen  
25 Widerstand, der an Masse liegt.

In einer vorteilhaften Ausgestaltung ist in der Peakcompensationseinheit ein Widerstand vorgesehen, der derartig dimensioniert ist, dass die Zeitkonstante (t1) der Dauer des Umladevorgangs des Piezoantriebs minimiert wird. Dabei  
30 kann der Widerstand auch fortgelassen werden, d.h. er hätte einen Widerstand von Null Ohm, wobei jedoch – hier nicht näher bestimmte – aus

Gründen des Explosionsschutzes erforderliche Widerstände oder sonstige Innenwiderstände der Bauteile noch zu beachten sind. Der Vorteil dieses möglichst geringen Widerstandes ist, dass die Zeitkonstante ( $t_1$ ) der Dauer des Umladevorgangs minimiert wird, da die Konstante von der Kapazität des  
5 Kondensators und dem Widerstandswert des mit dem Kondensator ein RC-Glied bildenden Widerstands abhängt.

Eine vorteilhafte Ausgestaltung ist symmetrisch und sieht in der Peakcompensationseinheit zwei Unterdrückungseinheiten vor. Dabei wird die  
10 erste Unterdrückungseinheit durch die abfallenden Flanken und die zweite Unterdrückungseinheit durch die ansteigenden Flanken des Erregersignals gesteuert.

Gemäß einer günstigen Ausgestaltung ist in der Peakcompensationseinheit  
15 mindestens ein Differenzierelement vorgesehen, an dem das Erregersignal anliegt und welches das Schaltelement steuert, wobei die Ausgangsspannung des Differenzierelements die Ableitung des Erregersignals darstellt. Dies ermöglicht die einfache Steuerung des Schaltelements. Eine einfache und kostensparende Ausgestaltung ist, dass es sich bei dem Differenzierelement  
20 um ein RC-Glied handelt mit einem Kondensator und einem Widerstand.

In einer zweiten Ausgestaltung wird die Aufgabe erfindungsgemäß dadurch gelöst, dass in der Peakcompensationseinheit mindestens eine Verstärkereinheit vorgesehen ist, die das Antwortsignal des Piezoantriebs  
25 verstärkt, und deren Verstärkungsfaktor durch das Erregersignal der Rückkoppelektronik derart steuerbar ist, dass der Verstärkungsfaktor minimal ist während der ansteigenden und/oder während der abfallenden Flanken des Erregersignals. Die Grundidee dieser zweiten Lösung der Aufgabe ist also, dass das Antwortsignal verstärkt wird, wobei der  
30 Verstärkungsfaktor jedoch nicht konstant ist. Somit können die Peaks im Antwortsignal dadurch entfernt bzw. deren Auswirkung deutlich vermindert

werden, dass die entsprechenden Abschnitte des Antwortsignals nur eine sehr geringe – möglichst eine minimale – Verstärkung erfahren im Vergleich zu den übrigen Abschnitten. Die Verstärkereinheit hebt also das Antwortsignal bis auf die Ausnahme der Abschnitte mit Umladesignal an. Die

5 Verstärkereinheit kann dabei der eigentlichen Rückkoppelelektronik vorgelagert oder ein Bestandteil von ihr sein. Minimale Verstärkung bedeutet in diesem Zusammenhang, dass der Unterschied zwischen der Verstärkung während der Flanken und außerhalb der Flanken so groß ist, dass die Rückkoppelelektronik nicht oder zumindest nicht negativ von den mit den  
10 Flanken verbundenen Peaks beeinflusst wird.

Beiden erfindungsgemäßen Lösungen der Aufgabe ist gemein, dass die Abschnitte des Antwortsignals, in denen sich die Umladesignale finden, nicht zur Rückkoppelelektronik gelangen, indem sie durch die

15 Peakcompensationseinheit, die durch das Erregersignal gesteuert wird, ausgeblendet werden. Entweder wird das Antwortsignal auf Masse gegeben oder die Verstärkung des Antwortsignals wird deutlich reduziert. Das Antwortsignal wird also quasi in beiden Ausgestaltungen mit einer Kamm-Funktion multipliziert, die mit Ausnahme der Abschnitte mit Peak konstant mit einem Wert ungleich Null und zu den Zeiten dieser Abschnitte Null oder  
20 zumindest sehr klein ist. Die Synchronisierung von Antwortsignal und dieser Funktion geschieht dadurch, dass das Erregersignal nicht nur an den Piezoantrieb, sondern auch an die Peakcompensationseinheit gegeben wird.

25 Eine Ausgestaltung sieht vor, dass es sich bei der Verstärkereinheit um einen Ladungsverstärker handelt. Diese Ausgestaltung liegt nahe, da der Piezoantrieb ein Stromsignal erzeugt. Weiterhin sind so keine Bauteile z.B. zur Umwandlung des Strom- in ein Spannungssignal notwendig.

30 Eine Ausgestaltung beinhaltet, dass der Verstärkungsfaktor während der ansteigenden und/oder während der abfallenden Flanken des Erregersignals

annährend Null ist. Somit werden die Peaks fast vollständig aus dem Antwortsignal ausgeblendet. Die Verstärkung kann jedoch auch unter einem bestimmten Grenzwert liegen, der durch die Rückkoppelektronik derart gegeben ist, dass störenden Effekte durch das Umladesignal nicht auftreten.

5 Ist die Verstärkung während der Flanken annährend Null, so kann der Verstärkungsfaktor auch beispielsweise Eins sein.

Eine Ausgestaltung sieht vor, dass in der Peakcompensationseinheit mindestens ein Schaltelement vorgesehen ist, welches den

10 Verstärkungsfaktor der Verstärkereinheit steuert, und dass in der Peakcompensationseinheit mindestens ein Differenzierelement vorgesehen ist, an dem das Erregersignal anliegt und welches das Schaltelement steuert, wobei die Ausgangsspannung des Differenzierelements die Ableitung des Erregersignals darstellt. Das Schaltelement steuert den Verstärkungsfaktor  
15 der Verstärkereinheit und wird selbst durch die Ableitung des Erregersignals gesteuert. Dies ist also ähnlich zu den entsprechenden Einheiten in der ersten Ausgestaltung der oben bereits diskutierten erfindungsgemäßen Lösung der Aufgabe.

20 Für beide erfindungsgemäßen Lösungen der Aufgabe gelten die folgenden Ausgestaltungen.

Eine günstige Ausführung beinhaltet, dass es sich bei dem Schaltelement um ein elektrisches Bauteil handelt, das seine Leitfähigkeit in Abhängigkeit von

25 einer anliegenden Spannung ändert. In der ersten Ausgestaltung ist dieses Schaltelement in der Unterdrückungseinheit vorhanden. Ein Vorteil ist, dass so mit dem Erregersignal, bzw. mit dessen Ableitung gearbeitet werden kann. Eine sehr einfache und kostenbewusste Ausgestaltung sieht vor, dass es sich bei dem Schaltelement um einen Halbleiterschalter, z.B. um einen  
30 Feldeffekttransistor allgemein oder speziell um einen MOSFET handelt. Zum Schutz des Schalterelements ist für das Schaltelement mindestens ein

Schutzelement vorgesehen, dass das Schaltelement vor zu hohen Spannungen und/oder vor Spannungen mit dem Vorzeichen schützt, bei dem sich die Leitfähigkeit des Schaltelements nicht ändert, indem es nur Spannungen mit positivem oder negativem Vorzeichen zum Schaltelement gelangen lässt. Als Schutzelemente lassen sich beispielsweise Dioden verwenden, die je nach Vorzeichen der an ihnen anliegenden Spannung den Kondensator des RC-Glieds in den Differenzierelementen direkt gegen Masse kurzschließen, so dass das Signal des RC-Glieds am Schaltelement sehr schnell abnimmt.

10

Vorteilhaft ist eine Ausgestaltung, bei der es sich bei dem Erregersignal um ein periodisches Rechtecksignal oder um ein periodisches trapezförmiges Signal handelt. Durch die Steilheit der Flanken wird der Umladevorgang zeitlich stärker begrenzt als bei einem Erregersignal mit flachen Flanken. Der Nachteil eines Rechtecksignals besteht darin, dass auch Oberwellenresonanzen angeregt werden können. Dies wird bei trapezförmigen Signalen vermieden.

Die Erfindung wird anhand der nachfolgenden Zeichnungen näher erläutert.

20

Es zeigt:

Fig. 1: ein Blockschaltbild des Vibrationsresonators;

Fig. 2: ein Blockschaltbild der ersten Ausgestaltung der

25

erfindungsgemäßen Vorrichtung zum Betreiben der schwingfähigen Einheit eines Vibrationsresonators;

Fig. 3: eine Blockschaltbild einer weiteren Ausgestaltung der Vorrichtung;

30

Fig. 4: den zeitlichen Verlauf einiger Signale; und

Fig. 5: ein Blockschaltbild der zweiten Ausgestaltung der erfindungsgemäßen Vorrichtung.

5      Figur 1 verdeutlicht den prinzipiellen Aufbau des Vibrationsresonators. Die schwingfähige Einheit 1 ist mit dem Piezoantrieb 2 verbunden. Dieser Piezoantrieb 2 wird durch die Rückkoppelektronik 3 zu Schwingungen angeregt, wodurch wiederum die mechanisch schwingfähige Einheit 1 in Schwingung versetzt wird. Der Piezoantrieb 2 detektiert dann die

10     Schwingungen der mechanisch schwingfähigen Einheit 1 und überträgt das Antwortsignal 21 über den Strom-zu-Spannungswandler 7 und die Peakkompensationseinheit 4 auf die Rückkoppelektronik 3. Gezeigt ist für die mechanisch schwingfähige Einheit eine Schwinggabel, die Verwendung eines Schwingstabes wäre jedoch ebenfalls möglich.

15     Figur 2 zeigt ein Blockschaltbild für eine bevorzugte Realisierung der Vorrichtung zum Betreiben der schwingfähigen Einheit 1 eines Vibrationsresonators. In dieser Schaltung wurden nur die allernötigsten Bauteile für die Peakkompensationseinheit 4 verwendet. Die

20     Rückkoppelektronik 3 erzeugt das Erregersignal 20, welches den Piezoantrieb 2 als Teil der schwingfähigen Einheit 1 zu Schwingungen anregt. Bei dem Erregersignal 20 handelt es sich hier um ein Rechtecksignal. Möglich sind auch trapezförmige Signale, die die Erregung von höheren Moden oder Oberwellen der mechanisch schwingfähigen Einheit vermeiden. Durch die

25     Schwingungen ergibt sich ein Antwortsignal 21 des Piezoantriebs 2, welches der Rückkoppelektronik 3 rückgeführt wird.

Während der Flanken des Erregersignals 20, d.h. durch die Änderung des Vorzeichens der Spannungsänderung, wird der Piezoantrieb 2 umgeladen, und es ergibt sich ein Umladestromverlauf, der mit der Zeitkonstanten t1 exponentiell abnimmt. Im Antwortsignal 21 zeigt sich dieser Peak als

Störsignal 22. Die Zeitkonstante  $t_1$  berechnet sich aus der Kapazität des Piezoantriebs 2 und aus einem Gesamtwiderstand, mit dem der Piezoantrieb 2 ein RC-Glied bildet. Dabei handelt es sich im gezeigten Beispiel um den Widerstand 11, sowie um weitere, nicht dargestellte Innenwiderstände der Schaltung, die beispielsweise aus Gründen des Explosionsschutzes erforderlich sein können. Diese hohen Umladesignale stellen für die Auswertung des Antwortsignals 21 eine Störung dar; relevant ist nur das Nutzsignal der schwingfähigen Einheit 1, das das Schwingungsdetektionssignal ist und z.B. aus dessen Frequenz und Amplitude sich physikalische Größen des Mediums bestimmen lassen. Das Störsignal 22 ergibt sich aus den Größen der verwendeten Bauteile und liefert keine Information bzgl. der interessierenden Messung.

Zur Unterdrückung des Störsignals 22 wird zunächst das Antwortsignal 21, das ein Stromsignal ist, über einen Strom-zu-Spannungswandler 7 in ein Spannungssignal umgewandelt. In der einfachsten Ausführung handelt es sich hierbei um einen Widerstand 11, der an Masse liegt. Hinter dem Strom-zu-Spannungswandler 7 befindet sich die Peakcompensationseinheit 4. Im gezeigten Fall sind zwei Unterdrückungseinheiten 5 und 13 vorgesehen. Die Unterdrückungseinheit 5 dient der Unterdrückung während der abfallenden Flanken des Erregersignals 20 und Unterdrückungseinheit 13 dient der Unterdrückung während der ansteigenden Flanken. Diese Unterdrückungseinheiten 5, 13 bestehen jeweils aus einem Schaltelement 6, 14 und werden von einem Differenzierelement 12 angesteuert, auf das das Erregersignal 20 der Rückkoppelelektronik 3 gegeben wird. In der gezeigten Ausgestaltung ist das Differenzierelement 12 ein RC-Glied, das aus einem Kondensator 9 und einem Widerstand 10 besteht. Beim Schaltelement 6 und 14 handelt es sich jeweils um einen Halbleiterschalter, beispielsweise um einen MOSFET. Die Halbleiterschalter, die in der Erfindung verwendet werden, sind deutlich kostengünstiger als z.B. die im Patent DE 196 21 449. Beispielsweise kann es sich auch um die Feldeffekttransistoren 2N7002 oder

TP0610 handeln. Dies sind zwei Beispiele aus einer großen Auswahl. Die Schaltelemente 6, 14 der Unterdrückungseinheiten 5, 13 unterscheiden sich darin, welches Vorzeichen der anliegenden Spannung ein Durchschalten des Schaltelements bewirkt. Es handelt sich also z.B. um n- oder p-Kanal

5 MOSFETs. In dieser speziellen Ausgestaltung sollte jedoch darauf geachtet werden, dass die Schaltelemente 6 und 14 durch die Spannungen mit dem jeweils anderen Vorzeichen keinen Schaden erleiden. Dies ist bei den genannten Feldeffekttransistoren 2N7002 oder TP0610 durch deren Eigenschaften gegeben.

10

Durch die Flanken des Erregersignals ergibt sich am RC-Glied 12 das Signal 24, das die Schaltelemente 6 und 14 steuert. Das Signal 24 stellt die Ableitung des Erregersignals 20 dar, somit arbeitet das RC-Glied 12 also als Differenzierelement. Weiterhin ähnelt das Signal den Störsignalen 22 des

15 Piezoantriebs 2, da es ebenfalls aus dem Umladevorgang resultiert. Das Signal 24 nimmt mit der Zeitkonstanten  $t_2$  ab, die bestimmt ist durch die Kapazität des Kondensators 9 und des Widerstands 10. Wie nachfolgend noch gezeigt werden wird, sind die Schaltelemente 6, 14 jeweils so beschaffen, dass sie jeweils während der abfallenden bzw. ansteigenden

20 Flanken ihre Leitfähigkeit ändern und somit den Piezoantrieb 2 gegen Masse kurzschließen. Der Kurzschluss geschieht solange, bis das Signal 24 unter einen bestimmten Schwellenwert gefallen ist, unter dem das Schaltelement 6 oder 14 nicht mehr leitend ist. Dieser Schwellenwert hängt von der Beschaffenheit der Schaltelemente 6, 14 ab. In dieser Zeit gelangt das

25 Antwortsignal 21 nicht zur Rückkoppelelektronik 3. Weiterhin ist der Gesamtwiderstand des RC-Glieds, dessen Kapazität durch den Piezoantrieb 2 gegeben ist, minimiert und somit auch die Zeitkonstante  $t_1$  des Umladevorgangs des Piezoantriebs 2. Vorteilhaft ist es, die Zeit  $t_2$  mindestens gleich oder größer als  $t_1$  zu wählen, so dass die Störsignale 22 auf jeden Fall 30 verlässlich aus dem Antwortsignal 21 herausgeschnitten werden.

Vorteile der Erfindung liegen darin, dass kostengünstige Bauteile verwendet werden, da u.a. auf OP-Verstärker, z.B. ein Analog-Schalter oder ein Exklusiv-Oder-Gatter verzichtet werden kann. Insgesamt werden für die Peakkompensationseinheit 4 und den Strom-zu-Spannungswandler 7  
5 insgesamt zwei Widerstände, ein Kondensator und zwei Halbleiterschalter benötigt.

Figur 3 stellt eine erweiterte Ausgestaltung der Schaltung in Figur 2 vor. Die Erweiterungen bestehen darin, dass vor der Peakkompensationseinheit 4 ein  
10 Widerstand 19 geschaltet ist. Dieser begrenzt den Umladestrom des Piezoantriebs 2 und verhindert eine zu große Belastung der Rückkoppelektronik 3. Während der Flanken des Erregersignals 20 wird dieser Widerstand 19 gegen Masse geschaltet und das Antwortsignal 21 gelangt nicht zur Rückkoppelektronik 3. Da in diesem Fall der Widerstand 11  
15 des Strom-zu-Spannungswandlers 7 und der Widerstand 19 beide gegen Masse geschaltet sind, liegen sie parallel und der Gesamtwiderstand ist kleiner als der kleinste Einzelwert. Somit ist dann auch die Umladezeit t1 des Piezoantriebs 2 minimiert.

20 Weiterhin ist in den Unterdrückungseinheiten 5, 13 jeweils ein Schutzelement 8, 15 vorgesehen. Im gezeigten Beispiel handelt es sich jeweils um eine Diode. Diese Schutzelemente 8, 15 begrenzen während der Zeiten außerhalb der Flanken des Erregersignals 20 die Spannung, die am jeweiligen Schaltelement 6, 14 anliegt, und schützen sie somit vor zu hohen  
25 Spannungen. Weiterhin wird verhindert, dass ein Spannung mit einem Vorzeichen zum Schaltelement gelangt, bei dem das Schaltelement 6, 14 nicht seinen Leitwert ändert. Somit können auch Halbleiterschalter verwendet werden, die Spannungen mit dem „falschen“ Vorzeichen nicht vertragen. D.h. durch die zusätzlichen Dioden werden die Ansprüche an die Halbleiterschalter  
30 reduziert.

Zudem findet sich in beiden Unterdrückungseinheiten jeweils ein eigenes Differenzierelement 12, 18. Die Wahl der mit diesen Differenzierelementen 12, 18 verbundenen Zeitkonstanten  $t_2, t_3$  sollte so sein, dass beide mindestens gleich oder größer als die Zeitkonstante  $t_1$  des Piezoantriebs 2 sind.

5

In Figur 4 sind die zeitlichen Verläufe der beteiligten Signale dargestellt. Das Erregersignal 20 ist im vorgestellten Fall ein Rechtecksignal mit steil ansteigenden und abfallenden Flanken. Bei der technischen Realisierung ergibt sich jedoch durch die Bauteile jeweils in Wirklichkeit eher ein

10 trapezförmiger Verlauf. Das Antwortsignal 21 setzt sich zusammen aus dem Nutzsignal, das in diesem Fall sinusförmig ist, und den Störsignalen 22, die sich aus dem Umladen des Piezoantriebs 2 ergeben und welche exponentiell abnehmen. Durch die Peakcompensationseinheit 4 ergibt sich am Eingang der Rückkoppelelektronik 3 das Signal 23, aus welchem die Störsignale 22  
15 ausgeblendet worden sind. Das Signal 24 ist das Signal des Differenziereléments 12 in der Ausgestaltung in Figur 1. Die Signale 25 und 26 sind die Signale der Differenzierelemente 18 und 12 in der Ausgestaltung in Figur 2. Bei diesen beiden Signalen 25, 26 sieht man auch sehr schön die Wirkung der Schutzelemente 8, 15, die in diesem Beispiel Dioden sind. Durch  
20 diese wird je nach Art der Flanke der Kondensator 9, 16 mit Masse kurzgeschlossen. Daher fällt das Signal fast sofort wieder gegen Null ab. Bei der jeweils anderen Flanke sperren die Dioden 8, 15 und die Kondensatoren 9, 16 bilden jeweils mit den Widerständen 10, 17 ein RC-Glied mit einer entsprechenden Zeitkonstante für den Abfall des Signals.

25

Fig. 5 zeigt die zweite Ausgestaltung der erfindungsgemäßen Lösung der Aufgabe. In der Peakcompensationseinheit 4 ist eine Verstärkereinheit 30 vorgesehen, die das Antwortsignal 21 des Piezoantriebs 2 verstärkt. In der einfachsten Ausgestaltung handelt es sich bei der Verstärkereinheit 30 um einen Ladungsverstärker. Der Verstärkungsfaktor wird durch das Erregersignal 20 der Rückkoppelelektronik 3 gesteuert. Wie in der obigen

Ausgestaltung wird das Erregersignal 20 auf das Differenzierelement 12 gegeben, welches ein RC-Glied – bestehend aus einem Kondensator 9 und einem Widerstand 10 gegen Masse – ist und welches das Signal 24 als Ableitung des Erregersignals 20 erzeugt. Die Schaltelemente 6, 14 sind – wie oben bereits ausgeführt - jeweils so beschaffen, dass sie während der abfallenden bzw. ansteigenden Flanken ihre Leitfähigkeit ändern und somit den Ausgang der Verstärkereinheit 30 mit dem Minuseingang leitend verbinden. Der Verstärkungsfaktor hängt dabei u.a. vom ohmschen Widerstand ab, der durch das Widerstandsbauteil 31, durch den Kondensator 31 – der zur Glättung dient – und durch die Schaltelemente 6, 14 gegeben ist.

Wird durch die Ableitung des Erregersignals 20 eines der Schaltelemente 6, 14 geschlossen, so fällt dieser gesamte Widerstandswert auf Null und somit geht auch der Verstärkungsfaktor auf Null. Wie lange der Verstärkungsfaktor Null ist, hängt von der Dimensionierung des RC-Gliedes 12 ab. Dies ist ebenfalls entsprechend zur ersten Ausgestaltung der Erfindung (siehe Fign. 2 und 3 und die entsprechenden Beschreibungen). Die weitere Ausgestaltung der Schaltung in Fig. 5 kann ebenfalls mindestens ein Schutzelement 15 beinhalten. Weitere Details liegen der fachlich qualifizierten Person nahe.

**Bezugszeichenliste**

- 1 Schwingfähige Einheit
- 2 Piezoantrieb
- 5 3 Rückkoppelelektronik
- 4 Peakkompensationseinheit
- 5 Unterdrückungseinheit
- 6 Schaltelement
- 7 Strom-zu-Spannungswandler
- 10 8 Schutzelement
- 9 Kondensator
- 10 Widerstand
- 11 Widerstand
- 12 Differenzierelement
- 15 13 Unterdrückungseinheit
- 14 Schaltelement
- 15 Schutzelement
- 16 Kondensator
- 17 Widerstand
- 20 18 Differenzierelement
- 19 Widerstand
  
- 20 Erregersignal
- 21 Antwortsignal
- 25 22 Störsignal
- 23 Signal an der Rückkoppelelektronik
- 24 Signal des Differenzierelements
- 25 Signal des Differenzierelements
- 26 Signal des Differenzierelements
  
- 30 30 Verstärkereinheit

- 31 Widerstand
- 32 Kondensator

## Patentansprüche

1. Vorrichtung zum Betreiben einer schwingfähigen Einheit (1) eines Vibrationsresonators
  - 5 mit einem Piezoantrieb (2), der mit der schwingfähigen Einheit (1) verbunden ist, und einer Rückkoppelektronik (3), wobei die Rückkoppelektronik (3) den Piezoantrieb (2) mittels eines periodischen Erregersignals (20) mit ansteigenden und abfallenden Flanken zu Schwingungen anregt und
  - 10 wobei ein Antwortsignal (21) des Piezoantriebs (2) der Rückkoppelektronik (3) rückgeführt wird, und mit mindestens einer Peakcompensationseinheit (4), die mindestens ein Störsignal (22), das sich aus dem Umladevorgang des Piezoantriebs (2) ergibt, aus dem Antwortsignal (21) ausblendet,
  - 15 **dadurch gekennzeichnet,**  
dass in der Peakcompensationseinheit (4) mindestens eine Unterdrückungseinheit (5, 13) mit mindestens einem Schaltelement (6, 14) vorgesehen ist, das durch das Erregersignal (20) der Rückkoppelektronik (3) derart gesteuert wird, dass der Piezoantrieb (2) während der ansteigenden
  - 20 und/oder während der abfallenden Flanken des Erregersignals (20) leitend mit Masse verbunden ist.
2. Vorrichtung nach Anspruch 1,  
**dadurch gekennzeichnet,**
  - 25 dass es sich bei dem Antwortsignal (21) um ein Stromsignal handelt, und wobei ein Strom-zu-Spannungswandler (7) vorgesehen ist, der das Stromsignal in ein Spannungssignal umwandelt.
3. Vorrichtung nach Anspruch 1,  
**dadurch gekennzeichnet,**

dass es sich bei dem Strom-zu-Spannungswandler (7) um einen Widerstand (11) handelt, der an Masse liegt.

4. Vorrichtung nach Anspruch 1,

5 **dadurch gekennzeichnet,**

dass in der Peakcompensationseinheit (4) ein Widerstand (19) vorgesehen ist, der derartig dimensioniert ist, dass die Zeitkonstante ( $t_1$ ) der Dauer des Umladevorgangs des Piezoantriebs minimiert wird.

10 5. Vorrichtung nach Anspruch 1,

**dadurch gekennzeichnet,**

dass eine erste Unterdrückungseinheit (5) und eine zweite Unterdrückungseinheit (13) in der Peakcompensationseinheit (4) vorgesehen sind,

15 wobei die erste Unterdrückungseinheit (5) durch die abfallenden Flanken und die zweite Unterdrückungseinheit (13) durch die ansteigenden Flanken des Erregersignals (20) gesteuert wird.

6. Vorrichtung nach Anspruch 1,

20 **dadurch gekennzeichnet,**

dass in der Peakcompensationseinheit (4) mindestens ein Differenzierelement (12, 18) vorgesehen ist, an dem das Erregersignal (20) anliegt und welches das Schaltelement (6, 14) steuert,

wobei die Ausgangsspannung des Differenzierelements (12, 18) die Ableitung des Erregersignals (20) darstellt.

7. Vorrichtung zum Betreiben einer schwingfähigen Einheit (1) eines Vibrationsresonators

mit einem Piezoantrieb (2), der mit der schwingfähigen Einheit (1) verbunden ist, und einer Rückkoppelelektronik (3),

wobei die Rückkoppelektronik (3) den Piezoantrieb (2) mittels eines periodischen Erregersignals (20) mit ansteigenden und abfallenden Flanken zu Schwingungen anregt und

wobei ein Antwortsignal (21) des Piezoantriebs (2) der Rückkoppelektronik

5 (3) rückgeführt wird, und

mit mindestens einer Peakcompensationseinheit (4), die mindestens ein Störsignal (22), das sich aus dem Umladevorgang des Piezoantriebs (2) ergibt, aus dem Antwortsignal (21) ausblendet,

**dadurch gekennzeichnet,**

10 dass in der Peakcompensationseinheit (4) mindestens eine Verstärkereinheit (30) vorgesehen ist, die das Antwortsignal (21) des Piezoantriebs (2) verstärkt, und deren Verstärkungsfaktor durch das Erregersignal (20) der Rückkoppelektronik (3) derart steuerbar ist, dass der Verstärkungsfaktor minimal ist während der ansteigenden und/oder während der abfallenden

15 Flanken des Erregersignals (20).

8. Vorrichtung nach Anspruch 7,

**dadurch gekennzeichnet,**

dass es sich bei der Verstärkereinheit (30) um einen Ladungsverstärker

20 handelt.

9. Vorrichtung nach Anspruch 7 oder 8,

**dadurch gekennzeichnet,**

dass der Verstärkungsfaktor während der ansteigenden und/oder während der

25 abfallenden Flanken des Erregersignals (20) annähernd Null ist.

10. Vorrichtung nach Anspruch 7, 8 oder 9,

**dadurch gekennzeichnet,**

dass in der Peakcompensationseinheit (4) mindestens ein Schaltelement (6,

30 14) vorgesehen ist, welches den Verstärkungsfaktor der Verstärkereinheit (30) steuert,

und

dass in der Peakcompensationseinheit (4) mindestens ein Differenzierelement (12, 18) vorgesehen ist, an dem das Erregersignal (20) anliegt und welches das Schaltelement (6, 14) steuert,

5 wobei die Ausgangsspannung des Differenzierelements (12, 18) die Ableitung des Erregersignals (20) darstellt.

11. Vorrichtung nach Anspruch 1 oder 10,

**dadurch gekennzeichnet,**

10 dass es sich bei dem Schaltelement (6, 14) um ein elektrisches Bauteil handelt, das seine Leitfähigkeit in Abhängigkeit von einer anliegenden Spannung ändert.

1 / 3

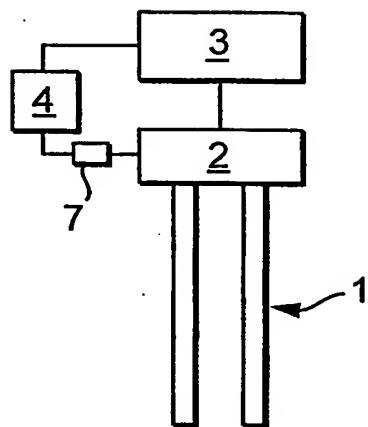


Fig. 1

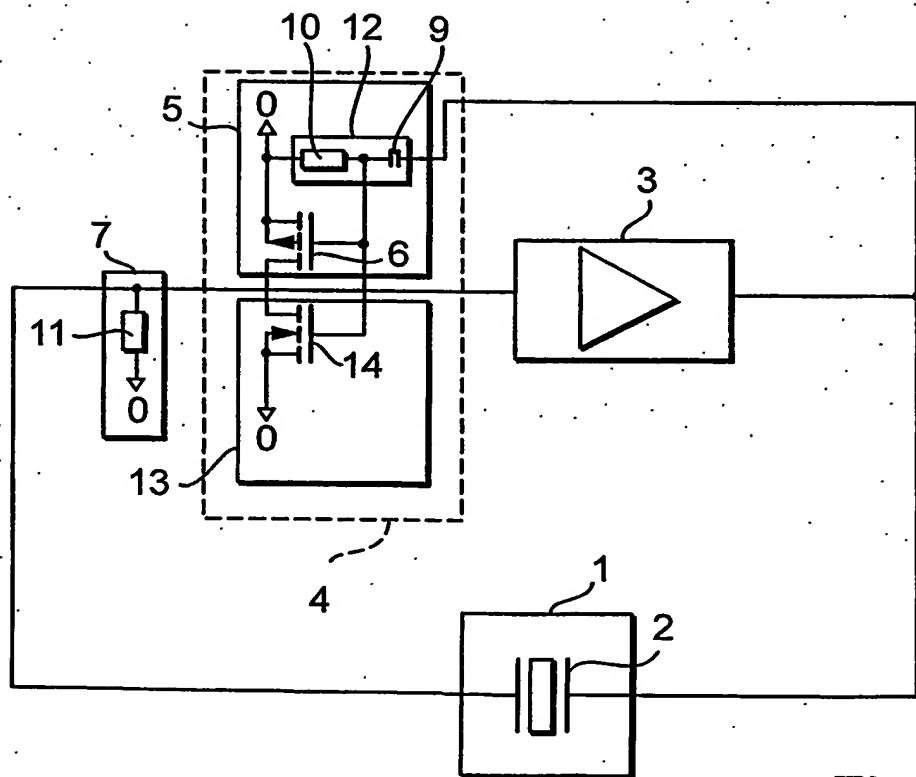


Fig. 2

2 / 3

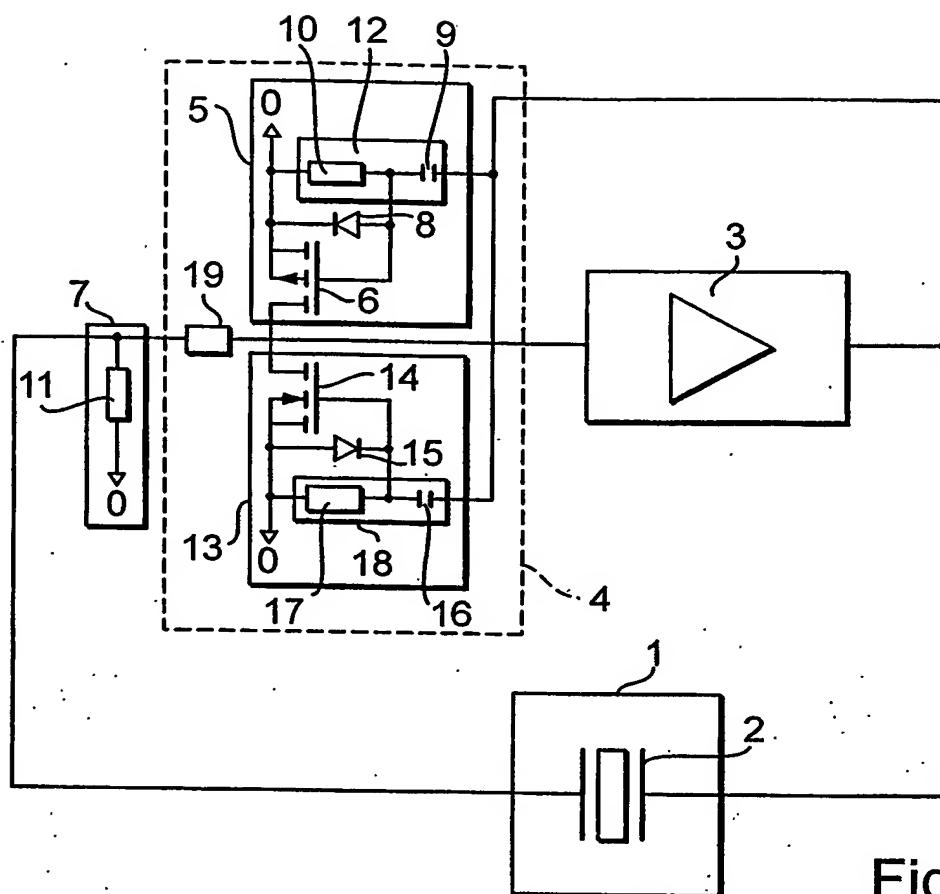


Fig. 3

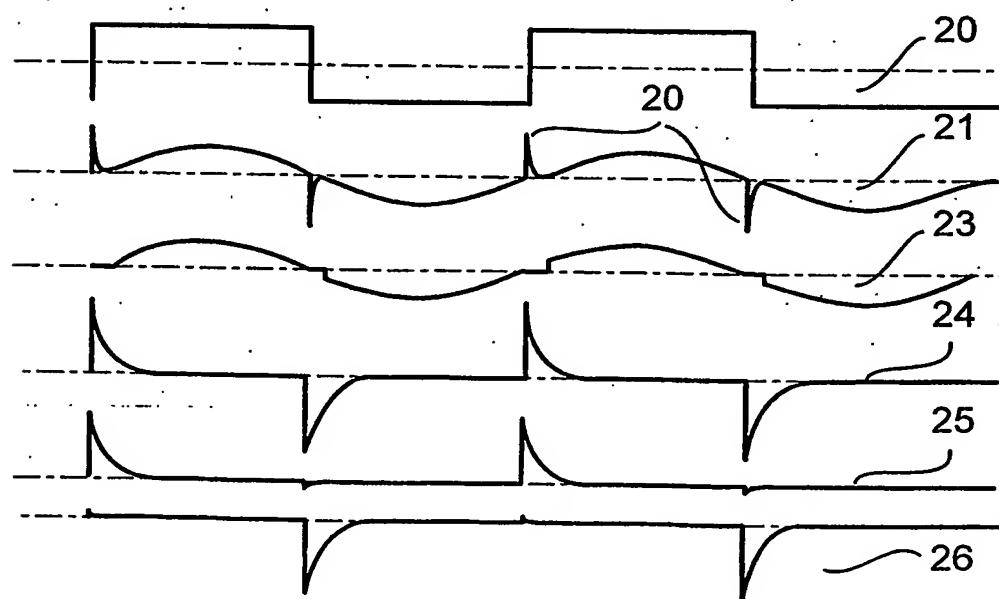


Fig. 4

3 / 3

Fig. 5

